

EP 00/06957

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

IPC: B 81 C 1/00

E J U

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 1. August 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
 Im Auftrag

[Handwritten signature]

Weihma 4

MÜLLER & HOFFMANN - PATENTANWÄLTE

Frithjof E. Müller, Dipl.-Ing.
Jörg Peter Hoffmann, Dr.-Ing.

Innere Wiener Straße 17
D - 81667 München

Anwaltsakte: 50.916

Anmelderzeichen: LTF-169-DE

Mü/kx
21.07.1999

LITEF GmbH

Lörracher Straße 18
79115 Freiburg i. Br.

Verfahren zur Herstellung einer Torsionsfeder

Beschreibung

- 1 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Torsionsfeder als Teil eines aus zwei Wafern oder zwei Waferverbunden herzustellenden mikro-mechanischen Torsionsfeder-Masse-Systems mit niedriger Torsionssteifigkeit im Vergleich zur Quersteifigkeit in lateraler und vertikaler Richtung.

5

Als Beispiel für eine Anwendung solcher Torsionsfedern sei auf Drehspiegel und mikromechanische Drehratensensoren hingewiesen, wie sie in der internationalen Patentanmeldung WO 96/38710 beschrieben sind. Insbesondere die Figur 8 der genannten Druckschrift zeigt eine doppelagige Schwingerstruktur, die über ein aus den Waferschichten geformtes Kreuzfedergelenk in einem Rahmen gehalten ist. Dieses aus insgesamt vier einzelnen Federelementen gebildete Kreuzfedergelenk verbessert die erwünschte Steifigkeit in den Waferebenen, worauf in der genannten WO-Druckschrift hingewiesen ist.

- 15 Für eine derartige Schwingerstruktur, deren plattenförmig übereinander angeordnete Schwinger einen auf dem Coriolis-Prinzip basierenden mikro-mechanischen Drehratensensor bilden, ist es jedoch wünschenswert, das genannte Kreuzfedergelenk zu optimieren und zwar so, daß sich im Vergleich zur Torsionssteifigkeit eine möglichst hohe Quersteifigkeit in Richtung der
- 20 Waferebenen beziehungsweise senkrecht dazu, das heißt also in lateraler und vertikaler Richtung ergibt.

- Der Erfindung liegt damit die Aufgabe zugrunde, für ein mikromechanisches Torsionsfeder-Masse-System ein Verfahren zur Herstellung einer optimierten
- 25 Torsionsfeder anzugeben.

- Silicium-Torsionsfedern in Mikrostrukturierung sind in verschiedenen Ausführungsvarianten bereits bekannt. So beschreibt der Fachaufsatz in Lit. [1] relativ lange schmale Bänder, beispielsweise zum Anlenken von Torsionsspiegeln. Der
- 30 Federquerschnitt ist trapezförmig. Die Federn sind an gegenüberliegenden Waferrändern ausgebildet und werden durch Ätzen von Gruben von der Rückseite bei Strukturierung der Federn von der Vorderseite hergestellt. Lit. [2] beschreibt die Herstellung eines rechteckförmigen Torsionsquerschnitts, insbesondere für die Aufhängung eines Stimmgabelresonators mit relativ hohem Aspektverhältnis (Höhe:Breite ≥ 4), wobei als Herstellungsverfahren tiefes RIE-Ätzen (Reactive Ion

- 1 Etching) vorgeschlagen wird. Diese beiden Torsionsfederquerschnitte haben den Nachteil, daß sie auch empfindlich gegenüber Querbeanspruchungen sind. Der nach dem ersteren Verfahren hergestellte Federquerschnitt ist besonders gegenüber vertikaler Biegung und der nach dem letzteren Verfahren hergestellte
- 5 Federquerschnitt besonders gegenüber lateraler Biegung empfindlich.

- Die Erfindung ist bei einem Verfahren zur Herstellung einer Torsionsfeder als Teil eines aus zwei Wafern oder Waferverbundenen herzustellenden mikro-mechanischen Torsionsfeder-Masse Systems mit niedriger Torsionssteifigkeit im
- 10 Vergleich zur Quersteifigkeit in lateraler und/oder vertikaler Richtung dadurch gekennzeichnet, daß an mindestens einem Rand jedes Wafers beziehungsweise Waferverbunds durch anisotropes naßchemisches Ätzen eines sich über die gesamte Wafer- oder Waferverbunddicke erstreckende Feder mit lateral nur durch [111]-Flächen begrenztem V-förmigen Querschnitt erzeugt wird, und daß
- 15 die beiden so vorstrukturierten Wafer beziehungsweise Waferverbunde um 180° gedreht und spiegelbildlich aufeinander ausgerichtet miteinander verbondet werden, so daß im Bereich der beiden V-förmigen Federquerschnitte ein insgesamt X-förmiger Torsionsfederquerschnitt gebildet wird.
- 20 Wird die Erfindung in Verbindung mit der Herstellung der genannten mikro-mechanischen Drehratensensoren angewendet, so wird - um unterschiedliche Anregungspotentiale beziehungsweise Rückstellsignale einerseits und Zu- und Auslesepotentiale andererseits nach außen abführen zu können - für jeweils einen der Plattenschwinger von einem vorzugsweise zweilagigen Waferverbund
- 25 ausgegangen. Um beispielsweise vier verschiedene elektrische Potentiale über die gekreuzten Federn der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Torsionsfedern zu- oder abführen zu können, ist es vorteilhaft, auf mindestens einem der Wafer beziehungsweise dem Waferverbund auf der dem anderen Wafer beziehungsweise anderen Waferverbund beim Verbonden zugekehrten Ober-
- 30 fläche ein isolierendes Oxid auszubilden.

- Durch den aufgrund des Verfahrens entstandenen X-förmigen, integral-verbundenen Torsionsfederquerschnitt erhöht sich das Verhältnis von Quersteifigkeit zu Torsionssteifigkeit gegenüber einem Rechteckquerschnitt, aber auch gegen-
- 35 über einzelnen gekreuzten Federelementen, wie sie in der genannten WO-Druckschrift veranschaulicht sind, um mehr als zwei Größenordnungen.

- 1 Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in der einfachen Technologie zu sehen, da die Torsionsfeder nicht durch zeitabhängige Ätzprozesse beeinflußt ist, so daß insgesamt bei der Kombination der beiden V-förmigen Federn nur ein zeitkritischer Ätzschritt auftritt.

5

- Die Maßhaltigkeit der Torsionsfeder, deren Masken ersichtlicherweise lange schmale Strukturen enthält, hängt unter anderem von einer exakten Übereinstimmung zwischen der Kristallrichtung (110) und der jeweiligen Maskenausrichtung ab. Um dies zu gewährleisten, wird mit der Erfindung zur exakten Ausrichtung der Wafer untereinander beziehungsweise von Wafern zu Masken die Justagereferenz für das Verbonden, insbesondere Silizium-Direkt-Bonden, und die Lithographie mit geeigneten chemischen, plasmachemischen und/oder mechanischen Mitteln nach der (110)-Kristallrichtung ausgerichtet. Diese Ausrichtung kann zum Beispiel dadurch erfolgen, daß die Wafer zunächst mit einer
- 10 Ätzmaske versehen werden, welche parallel zur angeschliffenen Phase einer Maskenkante erzeugt wird. Anschließend werden die Wafer mit dieser Maske anisotrop überätzt, wodurch eine neue Referenzphase entsteht, die anschließend als optische beziehungsweise mechanische, vorzugsweise gravitationsunterstützte Justagereferenz für das Silizium-Direkt-Bonden und die
- 15 Litografie, also die Maskenausrichtung benutzt wird.
- 20

Die Erfindung wird nachfolgend anhand zweier Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

- 25 **Fig. A** eine erste erfindungsgemäße Verfahrensvariante zur Herstellung einer Torsionsfeder mit X-förmigen Querschnitt aus zwei Wafern, und

Fig. B eine zweite abgewandelte Verfahrensführung.

- 30 Ausgangspunkt des Herstellungsverfahrens sind im Falle der Figur A zwei gleichartige Wafer und im Falle der Figur B zwei Waferschichtverbunde, die entlang ihrer gemeinsamen Oberflächenebene durch eine Isolationsoxidschicht 1 voneinander getrennt beziehungsweise gegeneinander elektrisch isoliert sind, mit einer Schichtdicke von beispielsweise bis zu 4 µm. Im seitlichen Randbereich
- 35 der Wafer beziehungsweise des Waferverbunds werden streifenförmige Ätzmasken 2 aufgebracht. Sodann wird durch anisotropisches, naßchemisches Ätzen im Randbereich jedes Wafers beziehungsweise Waferverbunds eine Feder 3

- 1 mit V-förmigen Querschnitt erzeugt, die lateral durch [111]-Flächen begrenzt ist. Anschließend werden zwei der so mit V-förmiger Feder vorstrukturierte Wafer beziehungsweise Waferverbunde im 180° gegeneinander gedreht und spiegelbildlich aufeinander ausgerichtet miteinander verbondet, insbesondere durch
- 5 Silizium-Direkt-Bonden, so daß die erwünschte quersteife Torsionsfeder mit X-förmigen Querschnitt als Aufhängeelement für eine einheitliche Torsionsfeder-Masse-Systemstruktur gebildet ist.

10

15

20

25

30

35

Literaturliste zum Stand der Technik

- 1 Lit. [1] C. Kaufmann, J. Markert, T. Werner, T. Geßner, W. Dötzel: Charakterisierung von Material- und Strukturdefekten an mikromechanischen Scannern mittels Frequenzanalyse, Proceedings of Micro Materials '95, S. 443

5

- Lit. [2] J. Choi, K. Minami, M. Esahi: Silicon Angular Rate Sensor by Deep Reactive Ion Etching, Proc. of the Int. Symposium on Microsystems, Intelligent Materials and Robots, 1995, Sendai, Japan, S. 29-32.

15

20

25

30

Patentansprüche

1 1. Verfahren zum Herstellen einer Torsionsfeder als Teil eines aus zwei Wafern oder zwei Waferverbunden zu gewinnenden mikromechanischen Torsionsfeder-Masse-Systems mit niedriger Torsionssteifigkeit im Vergleich zur Quersteifigkeit in lateraler und vertikaler Richtung, **dadurch gekennzeichnet**, daß

5 - an mindestens einem seitlichen Randbereich jedes Wafers beziehungsweise Waferverbunds durch anisotropes naßchemisches Ätzen eine sich über die gesamte Wafer- oder Waferverbunddicke erstreckende Feder (3) mit lateral durch [111]-Flächen begrenztem V-förmigen Querschnitt erzeugt wird, und
- die beiden so vorstrukturierten Wafer beziehungsweise Waferverbunde um 180° gedreht und spiegelbildlich aufeinander ausgerichtet miteinander verbondet werden, so daß im Bereich der beiden V-förmigen Federquerschnitte ein insgesamt X-förmiger Torsionsfederquerschnitt gebildet wird.

15 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf mindestens dem einen Wafer beziehungsweise Waferverbund auf der dem anderen Wafer beziehungsweise Waferverbund beim Verbonden zugekehrten Oberfläche ein isolierendes Oxid (4) ausgebildet wird.

20 3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden Wafer beziehungsweise Waferverbunde durch Silizium-Direkt-Bonden miteinander verbunden werden.

25

30

Zusammenfassung

Verfahren zur Herstellung einer Torsionsfeder

Zur Herstellung einer Silicium-Torsionsfeder, über die beispielsweise die Drehrate bei einem mikrostrukturierten Torsionsfeder-Masse-System ausgelesen werden kann, wobei eine niedrige Torsionssteifigkeit im Vergleich zu einer relativ hohen Quersteifigkeit in lateraler und vertikaler Richtung angestrebt wird, wird gemäß Erfindung von einem Wafer beziehungsweise Waferverbund ausgegangen und nach entsprechender Maskenabdeckung durch anisotropisches naßchemisches Ätzen eine Feder mit V-förmigen Querschnitt erzeugt, die sich vorzugsweise über die gesamte Waferdicke erstreckt und lateral nur durch [111]-Flächen begrenzt ist. Zwei der so vorstrukturierten Wafer beziehungsweise Waferverbunde werden um 180° gedreht und spiegelbildlich aufeinander ausgerichtet miteinander verbondet, so daß insgesamt der angestrebte X-förmige Querschnitt entsteht.

Als besonderer Vorteil der Erfindung ergibt sich, daß die Herstellungstechnologie für die lateral- und vertikalsteife Drehfeder vergleichsweise einfach ist.

(Fig. A)

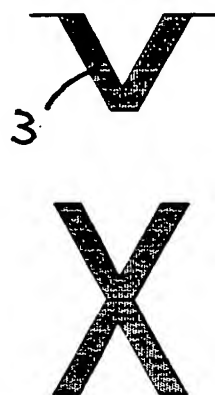


Fig. A

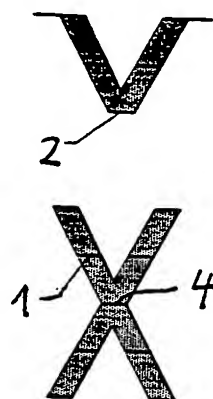


Fig. B

Figur für die Zusammenfassung

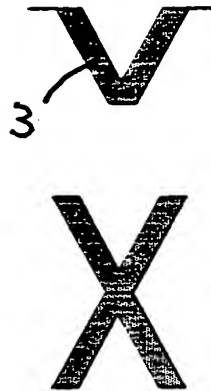


Fig. A

